

إعداد :-
م/ خالد النمري
Solution
حلول اتصالات رقمية
تحت اشراف الدكتور/ أنور السقاف
رئيس قسم الهندسة


الشكر والتقدير
الى كل من ساهم في
أنجاح هذه الحلول وبذل
قصارى جهده من اجل
ايصالها الى الطلاب بشكل صحيح
عنهم :-
م/خالد عبد اللطيف
م/هشام حيدر الجعدي
م/رمزي محمد حسن


الإهداء
إلى النبع الصافي
إلى المعين العذب
الى البحر الذي لا ينضب
الأستاذ/
الطيب بعكر

بسم الله الرحمن الرحيم





تمارين الفصـــل الثالث :-

الســـــؤال ألأول :-

١) لماذا يجري في ألإرسال الإذاعي استخدام تضمين المطال المعتاد والذي يحتوى على الحامل مع نطاقي الترددات العليا والدنيا ..؟

الإجـــــــــــــــــــــابه:-

وذلك لبساطة إزالة التضمين وسهولة استخلاص الموجه المطلوبة من موجه التضمينتن

عن طريق كاشف الغلاف وانخفاض تكلفتها في الارسال الاذاعي.

٢) أين يستخدم تضمين المطال (SSB) ولماذا ..؟

الإجـــــــــــــــــابه:

يستخدم تضمين النطاق الوحيد (SSB) في أنظمة الأقنية الهاتفية المتعددة (Multichannel telephony)

وفي بعض ألأنظمة العسكرية (Military Communication) وأنظمة الوحدات المتحركة (Mobile Radio)

وأنظمة اللاسلكي (Amateur Radio) .

وذلك لأنه يحقق اقتصاداً في استخدام الترددات إلى جانب الاقتصاد في القدرة المرسلة ...

٣) **لماذا يجري استخدام المطال الوحيد النطاق مع الحامل (VSB) في ألإرسال التلفزيوني .؟**

الإجـــــــــــــــــابه:-

لسهولة استخلاص الموجة المطلوبة .

يوفر في نطاق الترددات خصوصاً وان نطاق تردد الصورة يحتاج إلى مجال متسع من الترددات .

٤)**هل يعتبر استخدام تضمين المطال المزدوج النطاق و المخمد الحامل (DSBSC) عملياً .... ولماذا...؟**

لا يعتبر التضمين (DSBSC) عملياً وذلك لأنه يحتوى على المركبات العليا والمركبات الدنيا التي تتشابه في نفس الترددات وفي نفس المعلومات ...

وكذلك لا يحقق توفير في نطاق التردد .

الســـــــــؤال الثاني :-

لدينا جهاز إرسال طبقاً للتضمين المطال المعتاد تبلغ قدرة الجهاز ($\mathbf{P_t = 24kW}$) ' عندما يكون عامل التضمين مساوياً M=1 فاوجد المطلوب

١)أوجد قدرة الجهاز في حالة عدم وجود أي تضمين ...

الاجابه:

$$\mathbf{Q}P_t = 24kW$$

$$P_t = P_c(1+\frac{M^2}{2}) \quad P_t = (\frac{3}{2})P_c$$

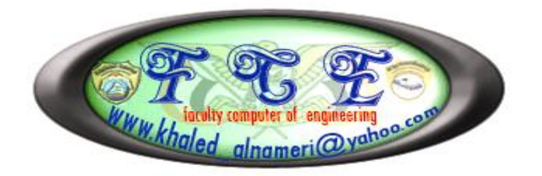
$$P_c = (2/3) * 24kW = 16kW$$

٢) أوجد قدرة الجهاز عندما يكون معامل التضمين (M = 0.70) ..

الاجابه:

في هذه الحالة نجد أن معامل التضمين (M < 1) لذلك تكون العلاقة هي :-

العلاقة العامة :-



$$\mathbf{P_t = \left(1 + \frac{M^2}{2}\right).P_c}$$

ومنه تكون العلاقة المطلوبة :-

أولاً :-

نوجد قدرة الموجة الحاملة في حالة التضمين المعتاد للجهاز وعندما يكون معامل التضمين (M = 1) .

$$\mathbf{P_t = \left(1 + \frac{M^2}{2}\right).P_c}$$

ومنه يمكن القول أن :-

$$P_c = \left(\frac{2}{3}\right).24\ kW = 16kW$$

نوجد قدرة الجهاز في حالة عامل التضمين (M =0.70) ...

$$P_t = \left(1 + \frac{(0.7)^2}{2}\right).16kW \cong 20kW$$

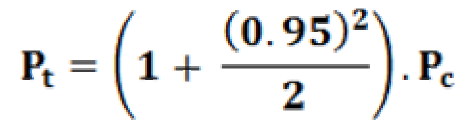
الســـــؤال الثالث :-

١) إرسال يعمل باستخدام تضمين المطال المعتاد . حيث تبلغ قيمة عامل التضمين (M =0.95) وتبلغ قيمة القدرة المرسلة $P_{out} = 5KW$ أوجد قدرة الموجة الحاملة P_c ...

الجواب:-

من القانون العام :-

ومنه يكون المطلوب :-



$$P_t = \left(1 + \frac{(0.95)^2}{2}\right).P_c$$

$$P_c = \frac{5kW}{1.45125} \cong 3.45kW$$



٢)عند استخدام تضمين النطاق الوحيد (SSB) ، وعامل تضمين قدرة (M = 0.2) أوجد قيمة القدرة المرسلة في هذه الحالة ...؟

الجواب:-

يمكن القول أن قدرة الموجة المرسلة موزعة بين الموجة الحاملة واحد نطاقي التردد وليكن الأعلى لذلك سوف يكون القانون العام في هذه الحالة هو

$$p_t = p_L \ \ or\ p_U$$

$$P_u = \left(\frac{M^2}{4}\right).P_c$$

لذلك سوف تكون قدرة الموجة المرسلة هي :-

$$P_t = \left(\frac{(0.2)^2}{4}\right).P_c = (0.1).3.45kW = 0.345kW$$

السـؤال الرابع :-

لدينا جهاز إرسال باستخدام تضمين المطال المعتاد ، وتبلغ قدرة الإرسال $(P_{out} = 2500\ W)$
كما تبلغ قدرة كل من النطاقين فيه

$$(P_U = P_L = 400\ W)$$

١) أوجد قدرة مركبة الموجة الحاملة P_C ؟

الاجابه:

من المعروف أن القدرة المرسلة (أو قدرة الإرسال) هي عبارة عن قدرة المركبتين العليا والدنيا و قدرة الموجة الحاملة ..

أي يكون القانون هو :-

$$P_t = P_U + P_L + P_c$$

ومن هذا القانون تكون قدرة الموجة الحاملة هي :

$$P_c = P_t - (P_U + P_L) = 2500\ W - 800\ W = 1700\ W$$

٢) أوجد معامل التضمين M ؟

الجواب:-

بعد أن أوجدنا قدرة الموجة الحاملة يمكن أن نوجد معامل التضمين (M)

$$P_t = \left(1 + \frac{M^2}{2}\right).P_c$$

ومن هذه المعادلة يمكن أن نستنتج أن :-

$$M^2 = \frac{2}{3} * \frac{P_t}{P_c}$$

ومن هذا القانون يكون معامل التضمين :-

$$M = \sqrt{\frac{2}{3} * \frac{P_t}{P_c}} = \sqrt{\frac{2}{3} * \frac{2500}{1700}} = 0.98$$

الســـــــؤال الخامس :-

لدينا جهاز إرسال تبلغ قدرة موجته الحاملة (($P_c = 16\ kW$)) . يستخدم هذا الجهاز في تضمين المطال الوحيد النطاق (SSB) ؟

المطلوب :-

١) أحسب قدرة الإرسال عندما يكون عامل التضمين (M = 0.60) ؟

الجواب:- في التضمين (SSB) يكون القانون العام للقدرة المرسلة هو :-

$$P_t = \left(\frac{M^2}{4}\right).P_c = \left(\frac{(0.60)^2}{4}\right).16\ kW = 0.9 * 16\ kW = 1.44\ kW$$

٢) أحسب قدرة الإرسال عند استخدام تضمين المطال الوحيد مع الحامل (VSB) مع بقاء قيمة عامل التضمين.

الاجابه:

في هذا النوع من التضمين يتم إرسال نطاق جانبي واحد مع جزء من النطاق الجانبي الثاني ..

ولذلك تكون قدرة الإرسال هي :-

$$P_t = \left(\left(1 + \frac{M^2}{4}\right).P_c\right)$$

وتكون القدرة المرسلة (قدرة الإرسال) :-

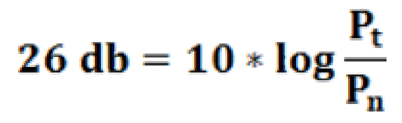
$$P_t = \left(\left(1 + \frac{(0.6)^2}{4}\right).16\ kW\right) = 1.09 * 16\ kW = 17.44kW$$

٣)أحسب قدرة الإرسال عند إرسال تردد واحد مع حامل منخفض بمقدار 26 db ؟

الجواب:-

نفرض في هذه الحالة أن قدرة التشويش $P_n = 1$

لذلك تكون القدرة المرسلة



$$26\ db = 10 * \log \frac{P_t}{P_n}$$

نفرض في هذه الحالة عدم وجود قدرة للتشويش

$(P_n = 1)$



لذلك سوف يكون القانون هو :-

$$26\ db = 10 * \log\ P_t$$

$$P_t = 10^{2.6} db = 398.1072\ db$$

السـ‍ـ‍ـ‍ـ‍ـ‍ـؤال السادس :-

لدينا جهاز استقبال يستخدم طريقة المزج المتقدم (superheterodyne) وتبلغ قيمة التردد المتوسط فيه (IF = 455 kHz) . إذا كان المطلوب من هذا الجهاز استقبال موجة ترددها (f = 540 kHz) . احسب تردد مولد الاهتزازات F_i في جهاز الاستقبال ...؟

في كل الحالتين :-

عندما يكون مجال ترددات دارة مولد الاهتزازات أعلى من ترددات الموجات المستقبلة .

الاجابة:

بواسطة قانون التردد الأوسط :-

$$IF = \Delta f$$

$$F_i - F_c = IF$$

حيث (Fc) هو تردد موجة التضمين المستقبله (Fc = 540 kHz)

F_i هو تردد مولد الاهتزازات

من القانون السابق يكون قانون مولد الاهتزازات هو Fi = Fc – IF

المطلوب الاول :- $IF = F_i + F_c$ = 540 kHz + 455 kHz = 995 kHz

عندما يكون مجال ترددات دارة مولد الاهتزازات أقل من ترددات الموجات المستقبلة ..

الاجابه: $IF = F_c - F_i$ = 540 kHz – 455 kHz =85KHZ

السـؤال السابع :

لدينا ٢٤ موجة هاتفية تقع ترددات كلاً منها ضمن المجال ما بين $F_L = 300Hz$ وبين $F_H = 3.5kHz$. يجري إرسال هذه الموجات باستخدام تضمين المطال (SSB) وتعدد تقسيم التردد FDM حيث يبلغ عرض النطاق الاحتياطي بين كل موجتين متجاورتين $F_g = 0.9kHz$

المطلوب :-

١) أحسب مسافة التردد d اللازمة لكل من هذه الموجات الهاتفية ضمن تعدد تقسيم التردد ؟

الجواب:-

بإستخدام القانون العام للمسافة بين ترددات الموجات نجد أن:-

$$d = f_m + f_g$$

حيث f_g هو النطاق الترددي الاحتياطي ، f_m عرض نطاق تردد الموجات

وتكون قيمة f_m هي :-

$$f_m = \frac{(f_h + f_l)}{24} = \frac{3800}{24} = 158.3 \text{ Hz}$$

ومنها تكون المسافة بين هذه الموجات هي :-

$$d = f_m + f_g = 158.3 + 900 = 1.583 \text{ kHz}$$

٢) أحسب عرض النطاق B للإرسال جميع الموجات ..

الجواب:- من المعروف أن عرض النطاق الترددي هو :- $B = N f_m$

حيث (N) يمثل عدد الموجات ...

وعرض النطاق الترددي لكل موجة هو f_m لذلك يكون عرض النطاق الترددي لإرسال جميع الموجات هو :-

$$B = N f_m = 24 * 158.3 \text{ Hz} = 3.8 \text{ k}$$

السـؤال الثامن :-

لدينا الموجة $v_m(t)$ يطلب إرسالها باستخدام تضمين المطال على الموجة الحاملة $v_c(t)$ ' حيث ان :-

$$v_c(t) = 10 \cos 2\pi(300\,000)\, t$$

$$v_m(t) = 4 \cos 2\pi(1000)\, t + 8 \cos 2\pi(2000)\, t + 4 \cos 2\pi(3000)\, t$$

المطلوب :-

١ - أوجد طول الموجة (λ_c) للموجة الحاملة $v_c(t)$



الاجابه:

$$f_c = 3 * 10^5$$

قانون الطول الموجي :-

$$\lambda = \frac{C}{f_c} = \frac{3 * 10^8}{f_c} = \frac{3 * 10^8}{3 * 10^5} = \frac{3 * 10^3}{3} = 1\text{km}$$

٢- أوجد التعبير الرياضي لموجة التضمين $v(t)$.

الاجابه:

التعبير الرياضي بشكل عام .....

$$v(t) = (10 + 4 \cos 2\pi(1000)\, t + 8 \cos 2\pi(2000)\, t + 4 \cos 2\pi(3000)\, t) * \cos 2\pi(300\,000)\, t$$

أو : -

$$v(t) = 10 \cos 2\pi(300\,000)\, t + 4 \cos 2\pi(1000)\, t * \cos 2\pi(300\,000)\, t$$

$$+ 8 \cos 2\pi(2000)\, t * \cos 2\pi(300\,000)\, t + 4 \cos 2\pi(3000)\, t * \cos 2\pi(300\,000)\, t$$

٣- أوجد عوامل التضمين M_1, M_2, M_3 للمركبات الموجة $v_m(t)$

الاجابه:

$$M_1 = \frac{V_{m1}}{V_c} = \frac{4}{10} = 0.4$$

$$M_2 = \frac{V_{m2}}{V_c} = \frac{8}{10} = 0.8$$

$$M_3 = \frac{V_{m3}}{V_c} = \frac{4}{10} = 0.4$$

اماعامل التضمين الكلي لموجة التضمين فيكون من القانون التالي :-

$$M_t = f_{c+}f_3$$

$$\sqrt{(M_1)^2 + (M_2)^2 + (M_3)^2} = \sqrt{(0.4)^2 + (0.8)^2 + (0.4)^2} = 0.98$$

٤- من أجل كل مركبة من مركبات موجة التضمين v (t) أوجد المطال الاعظمي (maximum amplitude) و المطال الفعال (r.m.s) والتردد

الجواب:-

$A_{m1r.m.s} = \frac{4}{\sqrt{2}}$, $A_{m2r.m.s} = \frac{8}{\sqrt{2}}$, $A_{m3r.m.s} = \frac{4}{\sqrt{2}}$

$A_{cmax} = 18$, $A_{m1max} = 14$, $A_{m2max} = 18$, $A_{m3max} = 14$

$f_c = 300kHz$, $f_1 = 1kHz$, $f_2 = 2kHz$, $f_3 = 3kHz$

٥- ما هي ترددات المركبات عند استخدام التضمين (DSBSC) ، والتضمين (SSB) ؟

في حالة التضمين (DSBSC) تكون الترددات على الشكل التالي .....

الاجابه: من قوانين " معالجات الإشارة " يمكن أن نوجد ترددات المركبات بالنسبة لموجة التضمين ....

نفك المركبات :-

$$v_1(t) = 10 \cos 2\pi(300\ 000)\, t$$

ونطبق القاعدة في حالة وجود هيئتها ضمن المركبة .2 = Ft π Wt ونطبق قاعدة المطار لإيجاد الترددات

القاعدة هي :-

$$v_1(t) = A\cos x = \frac{A}{2}(e^{jx} + e^{-jx})$$

نطبق القاعدة على المركبة الأولى :-

$$v_1(t) = 5(e^{j(2\pi(300000))t} + e^{-j(2\pi(300000))t})$$



الترددات لهذه المركبة هي :-

$$f_1 = 300kHz \quad , f_2 = -300kHz$$

المركبة التالية :-

$$v_2(t) = 4\cos 2\pi(1000)\,t * \cos 2\pi(300\,000)\,t = 2\cos 2\pi(301000) + 2\cos 2\pi(299000)$$

بشكل مباشر تكون الترددات هي :-

$$f_1 = 301kHz \quad , \quad f_2 = -301kHz \;\; f_3 = 299kHz \;\; , f_4 = -299kHz$$

المركبة الثالثة :-

$$v_3(t) = 8\cos 2\pi(2000)\,t * \cos 2\pi(300\,000)\,t$$
$$= 4\cos 2\pi(302000)t + 4\cos 2\pi(298000)\,t$$

وتكون الترددات هي :-

$$f_1 = 302kHz \quad , \quad f_2 = -302kHz \;\; f_3 = 298kHz \;\; , f_4 = -298kHz$$

المركبة الرابعة :-

$$v_4(t) = 4\cos 2\pi(3000)\,t * \cos 2\pi(300\,000)\,t$$
$$= 2\cos 2\pi(303000)t + 2\cos 2\pi(297000)t$$

الترددات هي :-

$$f_1 = 303kHz \quad , \quad f_2 = -303kHz \;\; f_3 = 297kHz \;\; , f_4 = -297kHz$$

في حالة التضمين (SSB) تكون الترددات على الهيئة التالية .....

في المركبة الأولى :-

$$v_1(t) = 10\cos 2\pi(300\,000)\,t$$

التردد هو :-

$$f_1 = 300kHz$$

المركبة الثانية :-

$$v_2(t) = 4\cos 2\pi(1000)\,t$$
$$* \cos 2\pi(300\,000)\,t = 2\cos 2\pi(301000) + 2\cos 2\pi(299000)$$

الترددات هي :-

$$f_1 = 301kHz \quad , \quad f_2 = 299kHz$$

المركبة الثالثة :-

$$v_3(t) = 8\cos 2\pi(2000)\,t * \cos 2\pi(300\,000)\,t$$
$$= 4\cos 2\pi(302000)t + 4\cos 2\pi(298000)\,t$$

الترددات هي :-

$$f_1 = 302kHz \quad , \quad f_2 = 298kHz$$

المركبة الرابعة :-

$$v_4(t) = 4\cos 2\pi(3000)\,t * \cos 2\pi(300\,000)\,t$$
$$= 2\cos 2\pi(303000)t + 2\cos 2\pi(297000)t$$

الترددات هي :-

$$f_1 = 303kHz \quad , \quad f_2 = 297kHz$$

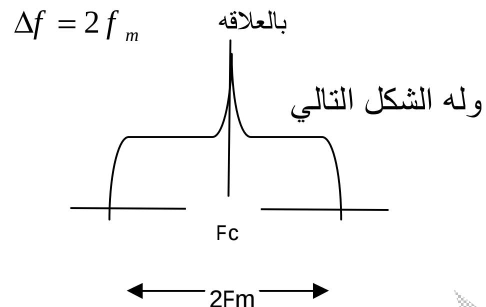
٦- قارن بين المطال المعتاد ، والتضمين الوحيد النطاق من وجهة نظر :- القدرة ، وعرض النطاق ، وبساطة الأجهزة المستخدمة ..؟

الاجابة:

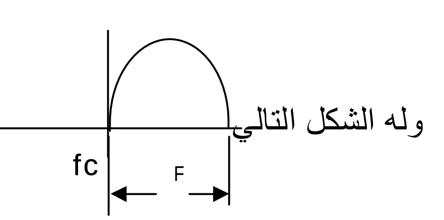
أوجه المقارنه	تظمين المطال المعتاد	تظمين المطال وحيد النطاق
١) القدره	**لا يحقق أي توفير في نطاق الترددات المطلوبة و يبدد نسبة عالية من قدرة الإرسال دون فائدة** **يستخدم القانون** $P_t = \left(1 + \frac{M^2}{2}\right)P_c$	**يستخدم القانون :-** $P_t = p_u \text{ or } p_l$ **يوفر هذا التضمين في القدرة المرسلة** **وكذلك التوفير في نطاق الترددات المستخدمة**

٢)عرض النطاق

عرض النطاق في حالة هذا التضمين حقق بالعلاقه $\Delta f = 2 f_m$



عرض النطاق في حالة هذا التضمين يحقق بالعلاقة : $\Delta f = f_m$



٣) بساطةالاجهزه المستخدمه

ا

تعتبر الأجهزة المستخدمة في هذا النوع من التضمين ابسط الأجهزةالمستخدمه مثل الأجهزة الإذاعية ...

الأجهزة التي تعتمد على توفير القدرة والترددات أجهزة الاتصالات الهاتفيه واتصالات الوحدات المتحركة

الســـــؤال التاسع :-

لدينا موجة التضمين $v_{(t)}$

حيث ان:

$$v_{(t)} = \sum_{i=1}^{i=N}[\cos\omega_c t \,.\, \cos(\omega_i t + \theta_i) - \sin\omega_c \,.\, \sin(\omega_i t + \theta_i)]$$

يمثل $f_c = \frac{\omega_c}{2\pi}$ التردد الحامل و يمثل $f_i = \frac{\omega_i}{2\pi}$ ترددات مركبات الموجة المضمنة ، ويكون $f_c \gg f_i$ من أجل I = N , I = 1 ...

المطلوب :-

١) أثبت أن $v_{(t)}$ هي موجة تضمين (SSB) ، وحدد ما إذا كان هذا النطاق أعلى (USB) أو أدنى (LSB) من التردد الحامل ؟

الاجابه:

نحدد الدراسة على موجة واحدة عندما يكون (N=1) ثم نطبق قوانين النسب المثلثية فتكون كالتالي :-

$$v_{(t)} = \cos\omega_c t \,.\, \cos(\omega_1 t + \theta_1) - \sin\omega_c \,.\, \sin(\omega_1 t + \theta_1)$$

ومن اللإستنتاجات الرياضيه نجد ان

$$v_{(t)} = \cos(\omega_c + (\omega_i t + \theta_1))$$

وبالتالي يكون النطاق من النوع (USB)

أوجد التعبير الرياضي الذي يمثل النطاق الجانبي الأخر ؟

الاجابه:

$$v_{(t)} = \quad \cos(\omega_c - (\omega_i t + \theta_1))$$

٢) أوجد موجة التضمين في حالة النطاق (DSBSC) ؟

الاجابه:

يمكن القول أن موجة التضمين في النطاق (DSBSC) هي عبارة عن المركبة العليا والمركبة الدنيا أي تكون موجة التضمين بالشكل التالي :-

$$v_{(t)} = \quad \cos(\omega_c + (\omega_i t + \theta_1)) + \quad \cos(\omega_c - (\omega_i t + \theta_1))$$

٤) عند تمرير موجة تضمين النطاق الوحيد $v_{(t)}$ عبر دائرة تعمل على ضربها بالموجه $\cos\omega_c t$ ، ثم عبر مرشح تمرير ترددات منخفضه تردد قطعه حيث $f_i < f_o < f_c$ كما هو مبين بالشكل الخاص بالمساله ، اوجد $v_{(t)} \ \cos\omega_c t$ ، وأوجد الموجه الخارجه من المرشح $v_{o(t)}$ ؟

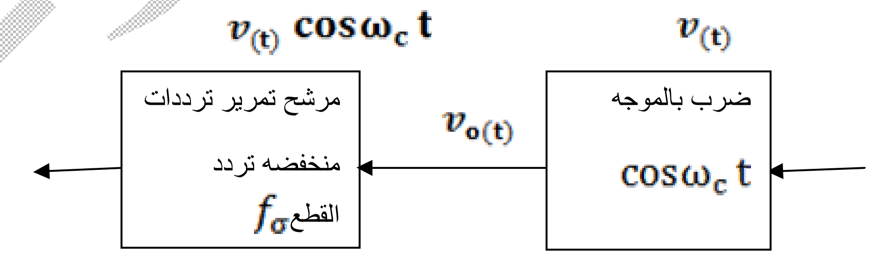
الإجـــــــــــابه: $v_{c(t)} = \cos\omega_c t$ ، $v_{(t)} = \cos(\omega_c + \omega_m)t$

عند ضرب هذه الموجه $v_{(t)}$ بالموجه $v_{c(t)}$ وتطبيق العلا قات المثلثيه ينتج *ان*

$$v_{(t)} = \frac{1}{2} \ [\ \cos(2\omega_c + \omega_m)t + \cos\omega_m t\ ]$$

اما الموجه الخارجه من المرشح $v_{o(t)}$ فتكون بالشكل التالي

$$v_{o(t)} = k_3 v_{m(t)}$$



الشكل الخاص المسأله التاسعه

٥)كرر(٤) اذ كانت موجة الضرب هي : $\cos(\omega_c t + \theta)$

عند ضرب هذه الموجه $v_{(t)}$ بالموجه $v_{c(t)}$ وتطبيق العلا قات المثلثيه ينتج *ان*

$$v_{(t)} = \frac{1}{2}[\cos(2\omega_c t + \omega_m t + \theta) + \cos(\omega_m t - \theta)]$$

اما الموجه الخارجه من المرشح $v_{o(t)}$ فتكون بالشكل التالي

$$v_{o(t)}=k_3 v_{m(t)}$$

٦) كرر (٤) اذ كانت موجة الضرب هي : $\cos(\omega_c+\Delta\omega)t$

عند ضرب هذه الموجه $v_{(t)}$ بالموجه $v_{c(t)}$ وتطبيق العلا قات المثلثيه ينتج *ان*

$$v_{(t)}=\frac{1}{2}[\cos(2\omega_c+\omega_m+\Delta\omega)t+\cos(\omega_m-\Delta\omega)t]$$

اما الموجه الخارجه من المرشح $v_{o(t)}$ فتكون بالشكل التالي

$$v_{o(t)}=k_3 v_{m(t)}$$

٧) هل كان بالامكان الحصول على الموجه $v_{o(t)}$ باستخدام طريقة كاشف الغلاف ؟

الإجـــــــــــــــــــابه:

لا يمكن الحصول على موجة التضمين باستخدام طريقةكاشف الغلاف

السبب:لان طريقة كاشف الغلاف تتطلب وصول الموجه بكاملها اما في النطاق الوحيد فيتطلب إرسال مركبه واحده فقط اما المركبة العليا أو ا لمركبة الدنيا

الســـــــــــــــؤال العـــــــــــــاشر:

لدينا الموجة التالية $v_m(t)$ يطلب إرسالها باستخدام تضمين المطال

على الموجة الحاملة $v_c(t)$ حيث :

$$v_m(t)=A_1\cos\omega_m t+A_2\cos 2\omega_m t+A_3\cos 3\omega_m t$$

$$v_c(t)=A_c\cos\omega_c t$$

المطلوب :-

١) أوجد موجة التضمين $v\ (t)$

الاجابه:

التضمين المستخدم هو تضمين المطال المعتاد وقانونه العام هو :-

$$v\ (t)=(V_C+V_m\cos\omega_m)\cos\omega_c$$

ومن القانون العام نضع قانون لهذه المعادلات

$$v(t) = (A_c + A_1 \cos\omega_m t + A_2 \cos 2\omega_m t + A_3 \cos 3\omega_m t) * \cos\omega_c t$$

إذا كانت قيم المطالات على النحو التالي :-

$A_c = 40\ volt \quad A_1 = 10\ volt$

$A_2 = 20\ volt \quad A_3 = 30\ volt$

٢) أوجد عوامل التضمين (M_1, M_2, M_3) لكل من المركبات الثلاثة للموجة $v_m(t)$ ؟

الاجابه:

$M_1 = \frac{A_{m1}}{A_c} = \frac{10}{40} = 0.25 \qquad M_2 = \frac{A_{m2}}{A_c} = \frac{20}{40} = 0.5$

$M_3 = \frac{A_{m3}}{A_c} = \frac{30}{40} = 0.75$

٣) إذا كانت قيمة التردد الزاوي للحامل ω_c ، والتردد الزاوي ω_m على النحو التالي

$\omega_c = 2\pi(10^5), \omega_m = 2\pi(10^3)$

ماهي الترددات التي تظهر في موجة التضمين ، وضح ذلك بالرسم ؟

الجواب:-

لكي نوجد الترددات للموجة المضمنة سوف نعوض عن القيمة المعطاة

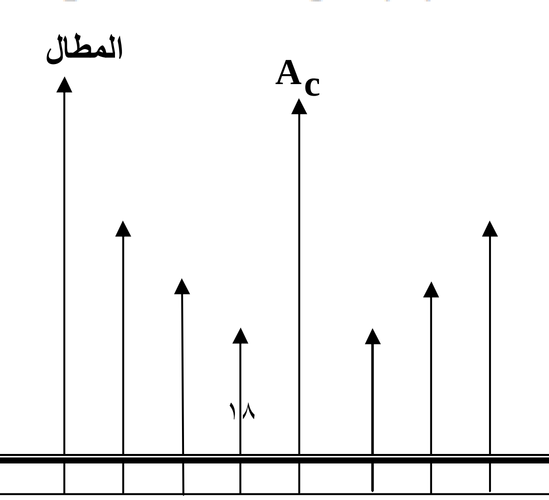
للترددات ثم نقوم بعملية الرسم

$$v(t) = (A_c + A_1 \cos 2\pi 10^3 t + A_2 \cos 2\pi * 2 * 10^3 t + A_3 \cos 2\pi * 3 * 10^3 t) * \cos 2\pi * 10^5 t$$

ومن هذه المعادلة تكون الترددات هي :-

$f_1 = (101) * 10^3, f_2 = (102) * 10^3, f_3 = (103) * 10^3, f_c = 10^5$

$f_1 = (99) * 10^3, f_2 = (98) * 10^3, f_3 = (97) * 10^3, f_c = 10^5$



٤)كرر(٣)من اجل التضمين المزدوج النطاق المخمد الحامل **DSBSC** وتضمين النطاق الوحيد **SSB** وتضمين النطاق الوحيد مع الحامل **VSB** الجواب:-

القانون العام للتضمين المزدوج هو $v(t) = 2v_m(t)\cos\omega_c t$ فتكون موجة التضمين والترددات هي

$$v(t) = (2A_1\cos\omega_m t + 2A_2\cos 2\omega_m t + 2A_3\cos 3\omega_m t) * \cos\omega_c t$$
$$f_1 = 101kHz , f_2 = 102kHz , f_3 = 103kHz(USB)$$
$$f_1 = 99kHz , f_2 = 98kHz , f_3 = 97kHz(LSB)$$

في حالة التضمين النطاق الوحيد سوف نأخذ الترددات العليا

$$v(t) = A_1\cos(\omega_m + \omega_c)t + A_2\cos(2\omega_m + \omega_c)t + A_3\cos(3\omega_m + \omega_c)t$$
$$f_1 = 101kHz \ , \ f_2 = 102kHz \ , \ f_3 = 103kHz$$

في حالة التضمين النطاق الوحيد مع الحامل تكون موجة التضمين والترددات هي

$$v(t) = A_c\cos\omega_c t + \frac{1}{2}[A_1\cos(\omega_c + \omega_m)t + A_2\cos(\omega_c + 2\omega_m)t + A_3\cos(\omega_c + 3\omega_m)t]$$
$$f_c = 100kHz \ , \ f_1 = 101kHz \ , \ f_2 = 102kHz \ , \ f_3 = 103kHz$$

٥)عند ضرب موجة النطاق الوحيد بالموجه $\cos\omega_c t$ يمكن استخراج $v_m(t)$ وتحقيق عملية الكشف وضح ذلك رياضيا. الجواب:-

أن موجة التضمين النطاق الوحيد بعد الضرب هي

$$v(t) = [A_1\cos(\omega_m + \omega_c)t + A_2\cos(2\omega_m + \omega_c)t + A_3\cos(3\omega_m + \omega_c)t] * \cos w_c t$$

تمارين الفصل الرابع (FM)

السؤال الأول :-

قارن بين تضمين FM وتضمين المطال AM من خلال النقاط التالية :-

طريقة تحميل الموجة المطلوب إرسالها على الموجة الحاملة .

عرض النطاق .نسبة الإشارة إلى التشويش. مبدأ عمل أجهزة الاستقبال .طبيعة الأجهزة المستخدمة .

الاستخدام .

الجواب :-

وجه المقارنة	FM	AM
طريقة تحميل الموجة المطلوب إرسالها على الموجة الحاملة .	يتغير تردد الموجة الحاملة تبعاً لتغير تردد موجة المعلومات أو يمكن القول :- يعتمد على تضمين التردد الذي يعتمد على تغير تردد موجه حاملة طبقاً لتغيرات الموجة المطلوب تضمينها	يتغير مطال الموجة الحاملة تبعاً لتغير مطال اشارة المعلومات المراد نقلها . أو يعتمد على مبدأ تضمين المطال الذي يعتمد على تغيير مطال موجة عالية التردد طبقاً لتغيرات الموجه المضمنة المطلوب إرسالها
عرض النطاق	العلاقة التالية تحدد عرض النطاق في تضمين التردد :- $BW = 2Nf_m$ $BW=2f_m\beta$	أ- عرض النطاق في حالة التضمين المعتاد وله العلاقة :- $\Delta f = 2f_m$
نسبة الإشارة إلى التشويش	كلما كان تردد الإشارة صغير كلما كانت نسبة التشويش كبيرة نسبة قليلة مقارنة مع مشاكل التشويش في تضمين المطال (التشويش قليل لان المطال ثابت)	كلما زاد مطال الإشارة كانت نسبة التشويش عالية . أو نقول نسبة كبيرة حيث أن معظم التشويش يظهر عادة على مطال الموجة المرسلة الذي يتغير تبعاً للموجه المضمنة المطلوبة
مبدأ عمل أجهزة الاستقبال	تحويل تضمين التردد إلى تضمين مطال ثم من تضمين المطال الحصول على الموجة المطلوبة دائرة الكاشف لإزالة التضمين واستخراج الموجة المطلوبة .	فك التضمين و الحصول على موجة المعلومات الصحيحة وهناك عدة طرق للعملية فك التضمين
طبيعة الاجهزة المستخدمة	الدائره المستخدمه كبيرة ومكلفة (وذلك لأنها تمر بمرحلتين ،مرحلة تحويل تضمين التردد الى تضمين المطال والمرحلة الثانية استخدام دائرة الكاشف	الدائرة المستخدمة سهلة ورخيصة الثمن (دائرة كاشف الغلاف)
الاستخدام	عادة في المحطات الاذاعية التي تعمل ضمن المجال ما بين 88KH و108KH كم انه يستخدم ايضافي ارسال الصوت محطات البث التلفزيوني .	الاكثر استخداما في الارسال الاذاعي المعتاد ، وكذلك ارسال موجة الصورة في الارسال التلفزيوني .

الســـــــــــــؤال الثاني :-

لدينا الموجات التالية :-

$$v_c(t) = V_c \cos \omega_c t$$

$$v_m(t) = V_m \cos \omega_m t$$

$$v_{(t)} = V_c \cos[\omega_c t + \emptyset(t)]$$

حيث تمثل $v(t)$ موجة تضمين تردد ، وحيث يعطى فرق الطور $\emptyset(t)$ على النحو التالي :-

$$\emptyset(t) = 2\pi K \int_0^t v_m(t)dt$$

المطلوب :-

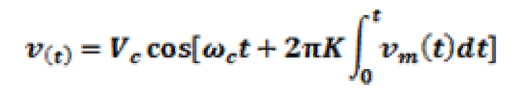
اكتب العبارة الرياضية التي تعطي $v(t)$ بدلالة $v_m(t)$.

الجواب:-

من بيانات الموجات المعطاة في السؤال يمكن أن نوجد المطلوب :-

$$v_{(t)} = V_c \cos[\omega_c t + \emptyset(t)]$$

ومنها يكون :-



$$v_{(t)} = V_c \cos[\omega_c t + 2\pi K \int_0^t v_m(t)dt]$$



وتكون بصورة نهائية :-

$$v_{(t)} = V_c \cos[\omega_c t + 2\pi K \int_0^t V_m \cos \omega_m t\, dt]$$

وفي حالة فك التكامل تكون الصورة النهائية :-

$$v_{(t)} = V_c \cos\left[\omega_c t + \frac{2\pi K V_m}{\omega_m} \sin \omega_m t\right]$$

ألمعادلة :-

أكتب العلاقة التي تعطي عامل التضمين β بدلالة كل من K, V_m, f_m حيث أن $f_m = \frac{\omega_m}{2\pi}$ ....

الجواب :-

وكذلك يكون عامل التضمين يمكن أن يكون على الصورة

$$\beta = \frac{KV_m}{f_m}$$

لذلك سوف تكون العلاقات هي :-

العلاقة (١) :-

$$v_{(t)} = V_c \cos\left[\omega_c t + \frac{2\pi K V_m}{\omega_m} \sin \omega_m t\right]$$

والعلاقة (٢) :-



$$v_{(t)} = V_c \cos[\omega_c t + \beta \sin \omega_m t]$$

العلاقة(٣) :-

$$v_{(t)} = V_c \cos\left[\omega_c t + \frac{\Delta f}{f_m} \sin \omega_m t\right]$$

أحسب قيمة β التي من أجل :- $f_m = 3kHz$, $V_m = 300, K = 10v$

الجواب :-

من العلاقة التالية سوف نوجد المطلوب :-

$$\beta = \frac{KV_m}{f_m} = \frac{300 * 10}{3kHz} = 1$$

اكتب العلاقة الرياضية التي تعطي تغير التردد $\Delta f(t)$ بدلالة $v_m(t)$.

الجواب :-

العلاقة التي التردد الزاوي بدلالة الموجة المضمنة هي :-

$$\Delta f(t) = KV_m \cos \omega_m t$$

وتعني هذه العلاقة أن التردد الزاوي $\Delta f(t)$ يزداد عندما تكون قيم الموجة المضمنة موجبة ويقل عندما تكون قيم الموجة المضمنة سالبة .

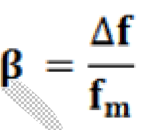
أوجد العلاقة التي تعطي الانحراف الاعظمي للتردد Δf بدلالة k V_m, f_m .

الجواب :-

العلاقة (١) :-

$$\Delta f = K V_m$$

العلاقة (٢) :-



$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$$



احسب قيمة Δf من أجل القيم :-

$$f_m = 3kHz \ , V_m = 300, K = 10v$$

الجواب :-

من العلاقة (١) سوف نوجد قيمة المطلوب :-

$$\Delta f = K V_m = 10 * 300 = 3kHz$$

أكتب العلاقة التي تعطي القدرة القياسية (P_t) للموجة $v_{(t)}$ بدلالة توابع بيسل ...

الجواب :-

تكون علاقة القدرة القياسية بدلالة توابع بيسل هي :-

$$P_t = V_c^2[\ ½\, j_0^2(\beta) + 2\sum_{n=1}^{\infty} j_0^2(\beta)]$$

أحسب هذه القدرة عندما يكون V_c = 40v

الجواب :-

ومن المطاليب السابقة تبين لنا أن قيمة

$$\beta = 1$$

لذلك يكون قيمة معامل بيسل هي :-

$$½\, j_0^{\,2} + 2\sum_{n=1}^{\infty} j_0^{\,2} = ½$$

وتكون القدرة في العلاقة التالية :-

إذا كانت القدرة القياسية تعتمد على المطال فقط بصرف النظر عن التردد فإن القدرة القياسية للموجة التضمين تساوي القدرة القياسية للموجة الحاملة قبل إجراء عملية التضمين .

$$P_t = \frac{1}{2}V_c^{\,2} = \frac{1}{2}(40)^2 = 800W$$

اكتب العلاقة التي تعطي عرض نطاق التردد (BW) بدلالة β, f_m ثم أحسب عرض النطاق بدلالة القيم السابقة -:

الجواب :-

$$BW = 2(\beta + 1)f_m = 2 * 2 * 3kHz = 12\ kHz$$

الســـــــــــــؤال الثالث :-

لدينا موجة تضمين الزاوية $v_{(t)}$ ، حيث :-

$$v_t = V_c \cos[\omega_c t + \emptyset(t)]$$

أوجد تغيير التردد $\Delta f(t)$ بدلالة $\emptyset(t)$. ما هي قيمة تغير التردد ، أذا كانت قيمة $\emptyset(t)$ ثابتة، أي

$$\emptyset(t) = \emptyset = constant$$

الجواب :-

$$\Delta\omega(t) = 2\pi K V_m \cos\omega_c$$

$$\Delta f(t) = K V_m \cos\omega_c$$

$$\Delta\omega(t) = 2\pi\Delta f(t)$$

$$\emptyset(t) = \int_0^t \Delta\omega(t)dt$$

$$\emptyset(t) = \int_0^t 2\pi\Delta f(t)$$



$$\frac{d\emptyset(t)}{dt} = 2\pi\Delta f(t)$$

$$\Delta f(t) = \frac{1}{2\pi} * \frac{d\emptyset(t)}{dt}$$

تكون قيمة $\Delta f(t)$ تساوي مالانهايه عندما تكون قيمة $\emptyset(t)$ ثابتة .

ماهي قيمة الانزياح الاعظمي المسموح للتردد Δf_{max} في المجال الترددي [88 – 108 MHz]

الجواب :-

$$\Delta f_{max} = 75kHz$$

أوجد النسبة المئوية لتضمين التردد (r) إذا كانت قيمة انزياح التردد (Δf) مساوية 25 kHz .

الجواب :-

من القانون لتضمين التردد :

$$r = \frac{\Delta f}{\Delta f_{max}} = \frac{25\ kHz}{75\ kHz} = 0.33$$

ج-إذا كانت الموجه المطلوب إرسالها هي $V_m(t)$ حيث : $V_m(t) = V_m \cos w_m t$

اوجد عامل التضمين b واوجد انزياح التردد Δf وكذلك العلاقة بين b و Δf من اجل كل من تضمين التردد FM وتضمين المطال AM .

الجواب:-

$$\Delta f = K V_m \qquad b = \frac{kv_m}{f_m}$$

العلاقه بين $\Delta f, b$ و اولا تضمين التردد FM :

$$b = \frac{\Delta f}{f_m}$$

ثانيا تضمين الطور PM :

$$b = \Delta f$$

د:-إذاكانت قيمة عامل التضمين b كبيرةجدا اي $b >> 1$ اوجد العلاقة التي عرض نطاق التردد

من اجل كل من تضمين التردد FM ،وتضمين الطور PM حدد في أي من الحالتين يكون عرض النطاق ثابت تقريبا ومستقل عن تردد الموجة المطلوب إرسالها

الجواب:-

يكون عرض نطاق التردد فيه ثابت ومستقل عن تردد الموجة المضمنة FM عندما $b >> 1$

تضمين الطور $Bw = 2\ \Delta\ f$

تضمين المطال $Bw = 2\ b\ f_m$

و- اذا كانت قيمة عامل التضمين b صغيرة جداً و $b << 1$ قارن بين تضمين التردد وتضمين الطور وتضمين المطال ،من وجهة نظر عرض نطاق التردد .

تضمين الطور $Bw = 2 f_m$

تضمين المطال $Bw = 2 f_m$

تضمين التردد $Bw = 2 f_m$

السـؤال الرابع :-

يعتمد مطال مركبات موجة تضمين التردد على تابع بسل يعطي العلاقة وفق العلاقة التالية :-

$$J_n(\beta) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(-1)^i - (\beta/2)^{2i+n}}{i!\,(i+n)!}$$

حيث n هي درجة التابع و β عامل التضمين ....

أكتب برنامجا يعمل على حساب $J_n(\beta)$ وحساب عدد الحدود الهامة التي تؤخذ بعين الاعتبار في عملية الجمع التي تعطي $J_n(\beta)$ ، علماً بأنه يمكن إهمال الحدود التي تقل عن $(1/1000)$ من القيمة المحسوبة للتابع . تشمل القيم المطلوبة عند مدخل البرنامج قيم كل من n, β

الجواب :-

```
# include(iostream.h)
# include(math.h)
# include(conio.h)
int fact(int);
void main()
{
 int β ,n , f , x ,y , w, h , sum= 0 ,result;
 float jβ ;
cin << β <<  n  << c ;
w=  β⁄2;
for (int i =0;  i <= c; i++)
{
 h= i+n;
 u=2*i+n;
x = fact (i);
 y = fact(h);
result = ( powr((-1),i) - powr(w,u)) / ( x * y);
if result < (1/1000) then
  {
  continous
  else
  sum = sum + reslut ;
  }
}
```

```
int fact( int a)
{    int f= 1;
  for ( int i=1; i<= a; i++)
      {
        f= f* i ;
      }
   return f;
```

```
cout >> sum ;
}
```

السؤال الخامس:-

يعطى عرض نطاق التردد لموجة تضمين التردد بالعلاقة :-

حيث هو تردد الموجة المطلوب ارسالها، وحيث تعطى N من خلال العلاقة:-

حيث هو تابع بسل من الدرجة n و تمثل عامل التضمين ،والرمز p يمثل نسبة الجزء الهام من القدرة الكلية الذي يؤخذ بعين الأعتبار عند حساب عرض النطاق ،من الناحية العملية ،لموجة تضمين التردد.

أ- أكتب مستعيناً بالبرنامج المطلوب في المسألة الرابعة برنامجاً جديداً لحساب عرض النطاق ،على ان يظهر البرنامج الحسابات المختلفة التي تقود الى قيمة N . لتشمل القيم المطلوبة عند المدخل قيم كلاًمن b, p, f_m ؟

ب- من أجل p=0.98 يكون عرض النطاق $BW = 2(b+1) f_m$

فإذا كانت $b = 2$ ، $f_m = 15k H_z$ فإن $BW = 90K H_z$ تحقق من هذه الحالة بإستخدام البرنامج واظهر النتائج؟

الجواب:

أ- باستخدام لغة (C++) ....

وبالاستعانة بالبرنامج الموجود في حل السؤال الرابع تم كتابة البرنامج على النحو التالي:-

```
# include(iostream.h)
# include(math.h)
# inclueade(conio.h)
Void main( ){
Int N,p, β,z,x;
Int sum1;
Cin>>p;
Cin>> β;
x=(1/2)*fact(β);
```



```
For(int j=1;j<=n;j++)
{
Sum1=sum1+fact(β);}
N=sum1+x;
Z=(1/2)*p;
If(N>=z)
Cout<<"print is number N="<<N;
} }
```

السـؤال السادس :-

لدينا الموجتان التاليتان :-

$$V_c(t) = V_c \cos(215.2p)(10)^6 t$$
$$V_m(t) = V_m \cos(14p)(10)^3 t$$

حيث يجري تحميل الموجة $v_m(t)$ على الموجة $v_c(t)$ طبقاً لمبدأ تضمين التردد . ويؤدي ذلك إلى انحراف في التردد الحامل $\Delta f = 70\ \text{kHz}$

المطلوب :-

أوجد تردد الموجة الحاملة f_c وتردد الموجة المحمولة f_m ..

الجواب :-

$$f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} = 107.6\ \text{MHz}$$

$$f_m = \frac{\omega_m}{2\pi} = 7\text{kHz}$$

أوجد مقدار تأرجح التردد لموجة تضمين التردد ، وكذلك أعلى قيمة وأقل قيمة يصلها هذا التردد .

الجواب :-

مقدار تأرجح التردد يمكن وصفة بالعلاقة التالية ($f = 2\Delta f = 2 * 70\ \text{kHz} = 140\text{kHz}$)

أعلى قيمة وأقل قيمة يصلها هذا التردد .

$$f = f_c \pm \Delta f$$

أعلى قيمة هي :-

$$f = f_c + \Delta f = 107.67\text{MHz}$$

أقل قيمة يصل إليها التردد هي :-

$$f = f_c - \Delta f = 107.6\ \text{MHz} - 70\ \text{kHz} = 107530\ \text{kH} = 107.53\text{M Hz}$$

أوجد قيمة عامل التضمين β ، وعرض نطاق التردد BW وقارن عرض النطاق الترددي مع تأرجح التردد .

الجواب :-

من المعروف أن قانون عامل التضمين :-

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{70\ \text{kHz}}{7\text{kHz}} = 10$$

وقانون عرض النطاق :-

نلاحظ أن عامل التضمين $\beta \gg 1$ لذلك يكون عرض النطاق هو :-

$$BW = 2\beta f_m = 2 * 10 * 7\text{kHz} = 140\ kHzHHHk$$

المقارنة :-

أوجد التعبير الرياضي للموجة التضمين $v(t)$ على أن تؤخذ القيم السابق بعين الاعتبار ....

الجواب :-

من العلاقة العامة للتضمين التردد يمكن أن نوجد هذا التعبير الرياضي للموجة التضمين ...

$$v(t) = V_c \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_m t)$$

ومن هذه العلاقة تكون موجة التضمين الترددي هي :-

$$v(t) = V_c \cos(\ (215.2\pi)(10^6)\ t + 10 \sin(14\pi)(10^3)t\ \ )$$

الســـــــــــــؤال السابع :-

لدينا موجة تضمين $v(t)$ تحمل موجة $v_m(t)$ يبلغ ترددها $f_m = 2\ \mathrm{kHz}$. ويبلغ التردد الأعلى لموجة التضمين

$f_{max} = 100.02\ \mathrm{MHz}$ كما يبلغ التردد الأدنى $f_{min} = 99.98\ \mathrm{MHz}$ ..

المطلوب :-

أوجد قيمة تأرجح التردد ..

الجواب :-

من المعروف أن قانون تأرجح التردد هو :-

$$f = 2\Delta f$$

نوجد أولاً الانزياح الترددي Δf

عرض النطاق الترددي يعطي العلاقة التالية :-

$$BW = f_{max} - f_{min} = 100.02\ \mathrm{MHz} - 99.98\ \mathrm{MHz} = 40\ kHz$$

ومن هذه العلاقة نوجد قيمة الانزياح الترددي :-

$$\mathrm{BW} = 2(\Delta \mathrm{f} + \mathrm{f_m})$$

ومن هذه المعادلة يكون قيمة الانزياح الترددي هي :-

$$\Delta \mathrm{f} = \frac{\mathrm{BW}}{2} - \mathrm{f_m} = 20\ \mathrm{kHz} - 2\ \mathrm{kHz} = 18\ \mathrm{kHz}$$

لذلك يكون قيمة تأرجح التردد هي :-

$$f = 2\Delta f = 2 * 18\ \mathrm{kHz} = 36\ \mathrm{kHz}$$

أوجد قيمة التردد الحامل $\mathrm{f_c}$



$f_c =_{m=} 42$ KH

$$\Delta f + f$$

السـؤال الثامن :-

لدينا موجة تضمين تردد ، قيمة عامل التضمين فيها $\beta = 5$ وتردد موجتها المحمولة هو $f_m = 3\ kHz$ . . .

أ- أوجد قيمة انزياح التردد :-

الجواب :-

يمكن أن نوجد قيمة انزياح التردد مباشرة من القانون

$$\Delta f = \beta * f_m = 5 * 3\ kHz = 15\ kHz$$

ب- أوجد نسبة تضمين التردد في الإرسال الإذاعي (88 - 108 MHz) حيث يسمح بإنزياح أعظمي في التردد قدره ($\Delta f_{max} = 75\ kHz$)

الجواب :-

نسبة تضمين التردد تؤخذ من المعادلة التالية :-

$$r = \frac{\Delta f}{\Delta f_{max}} = \frac{15\ khz}{75\ kHz} = 0.2$$

ج- أوجد نسبة تضمين التردد في المجال الصوتي من ألإرسال التلفزيوني ... علماً بأنه يسمح في هذا الإرسال بانزياح أعظمي في التردد قدره

$$\Delta f_{max} = 25\ kHz$$

الاجابه:

$$r = \frac{\Delta f}{\Delta f_{max}} = \frac{15\ khz}{25\ kHz} = 0.6$$

السـؤال التاسع :-

لدينا مجالاً من الترددات قدرة $6MH_z$ ،المطلوب حساب عدد محطات تضمين التردد التي يمكن إستخدامهاضمن هذا المجال ، علماً بأن شروط النطاق المطلوب لهذه المحطات هي على النحو التالي :

أ- عرض نطاق التردد لكل محطة $150kH_z$

ب- يترك على جانبي النطاق لكل محطة مسافة من الترددات قدرها $25k\,H_z$

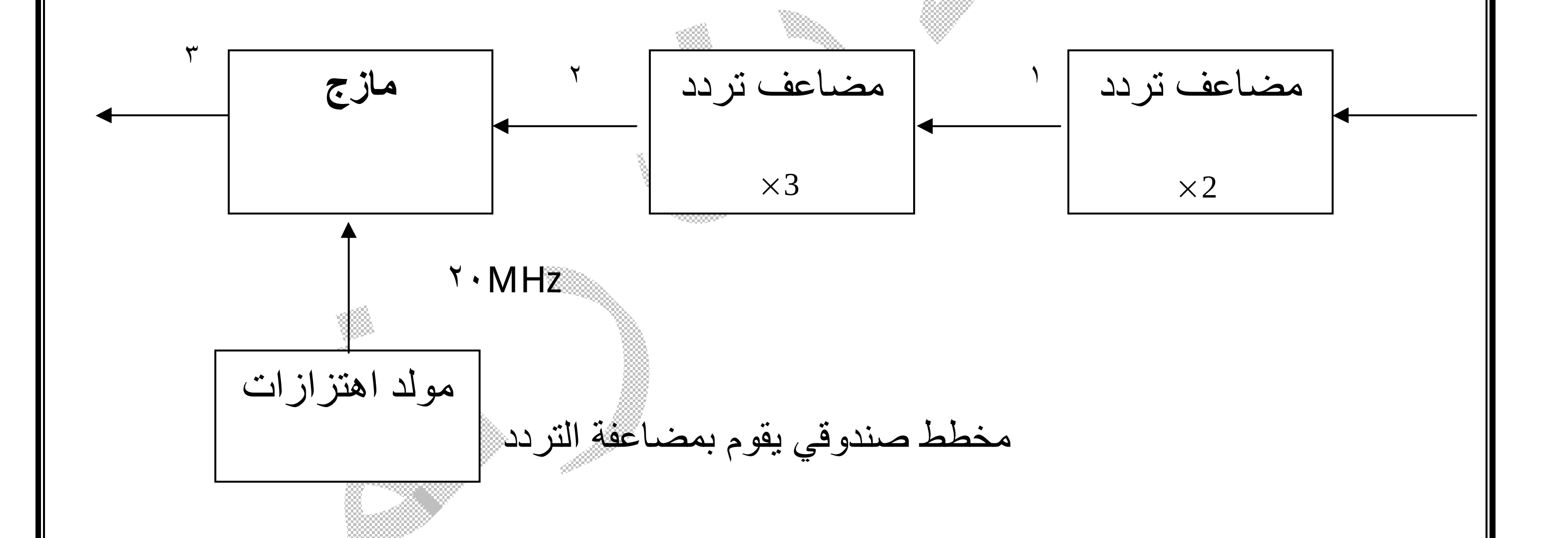
ج- في منطقة واحدة يجري ترك مجالاً لمحطة كاملة بين المجالات المستخدمة.

الجواب:

عدد المحطات الممكن إستخدامها ٢٤ محطة ضمن المجال المعطى في السؤال.

السؤال العاشر:-

لدينا موجة تضمين تردد تبلغ قيمة التردد الحامل فيها $Fc = 5MHz$ وكما تبلغ قيمة انحراف التردد $\Delta F = 4KHz$ والمطلوب هو رفع قيمة التردد الحامل الى $Fc = 50MHz$ وكذلك رفع قيمة انحراف التردد الى $\Delta F = 24KHz$ ارسم مخططاً صندوقيا بنظام يقوم باداة المطلوب مبينا عمل كل مرحلة من مراحله



مخطط صندوقي يقوم بمضاعفة التردد

المرحلة الأولى:
$$f_c = 5MHz \times 2 = 10\,MHz$$
$$\Delta f = 4KHz \times 2 = 8KHz$$

المرحلة الثانية :

$$f_c = 10\,MHz \times 3 = 30\,MHz$$

المرحلة الثالثة:

$$f_c = 30\,MHz + 20\,MHz = 50\,MHz$$
$$\Delta f = 24\,KHz$$

$$\therefore f_c = 50\,MHz$$
$$\Delta f = 24\,KHz$$

$$f_c = 10\,MHz \times 3 = 30\,MHz$$
$$\Delta f = 8\,KHz \times 3 = 24\,KHz$$